

98P3829



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Patentschrift  
10 DE 42 28 499 C 1

51 Int. Cl. 5:  
C 23 C 14/24  
// C23C 14/06

DE 42 28 499 C 1

21 Aktenzeichen: P 42 28 499.6-45  
22 Anmeldetag: 1. 9. 92  
43 Offenlegungstag: —  
45 Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 7. 10. 93

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:

VTD-Vakuumtechnik Dresden GmbH, 01257  
Dresden, DE

74 Vertreter:

Pätzelt, P., Dipl.-Ing.(FH), Pat.-Anw., 01257 Dresden

72 Erfinder:

Grimm, Werner, Dr., O-8054 Dresden, DE; Naumann,  
Wilfried, O-8045 Dresden, DE; Wilberg, Rüdiger,  
O-8019 Dresden, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

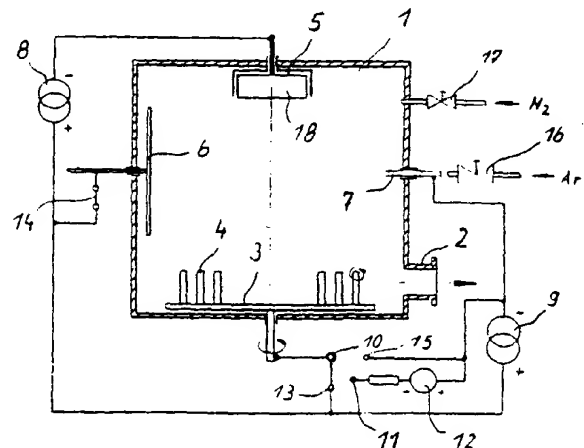
DE 41 25 365 C1  
DD 2 33 278 A3  
DD 1 35 216  
WO 91 14 017

54 Verfahren und Einrichtung zur plasmagestützten Beschichtung von Substraten

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung  
zur plasmagestützten Beschichtung von Substraten mittels  
eines Vakuumbogenverdampfers.

Die Erfindung schlägt ein Verfahren vor, bei dem vor und  
während der Beschichtung der Substrate aus einer Vakuum-  
bogenentladung zwischen einem Target (18) und einer  
anodischen Elektrode (6) eine Niedervoltbogenentladung  
zwischen einer Katode und der anodischen Elektrode (6)  
aufrechterhalten wird. Die Niedervoltbogenentladung wird  
dabei vor der Zündung der Vakuumbogenentladung für die  
Prozeßvorbereitung, der Reinigung und Aufheizung der  
Substrate, eingesetzt und wird während der Beschichtung  
der Substrate neben der Vakuumbogenentladung weiter  
aufrechterhalten.

Die erfindungsgemäß abgeschiedenen Schichten haben  
eine höhere Haftfestigkeit und eine höhere Dichte. Die  
höhere Dichte führt zu einer höheren Härte, besseren  
Homogenität und besserer Verschleißfestigkeit. Des weite-  
ren konnte eine bessere Reproduzierbarkeit der Abschei-  
dungsprozesse festgestellt werden.



DE 42 28 499 C 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zur plasmagestützten Beschichtung von Substraten mittels eines Vakuumbogenverdampfers.

Unter den Beschichtungsverfahren zur plasmagestützten Beschichtung von Substraten zeichnet sich der Vakuumbogenverdampfer insbesondere durch seine hohe Erosionsrate aus. Des weiteren können mit dem Vakuumbogenverdampfer nahezu alle leitfähigen Materialien verdampft werden. Die Lage des Targets innerhalb der Beschichtungskammer kann beliebig sein, da kein Schmelzbad des Verdampfungsmaterials im eigentlichen Sinne vorhanden ist. Wegen des fehlenden Schmelzbades wird der Vakuumbogenverdampfer auch als Kaltkatodenverdampfer bezeichnet.

Weniger günstig ist beim Vakuumbogenverdampfer in der Regel die für viele Prozesse nicht ausreichende Dichte des Plasmas. Der Ionenbeschuß der Substrate aus dem Plasma einer Vakuumbogenentladung zum Zwecke einer Ionenbeschußreinigung ist nur begrenzt mit Metallionen möglich. In gleicher Weise ist auch die Heizung der Substrate aus dem Plasma nur bedingt möglich. Die geringe Plasmadichte begrenzt die Aktivierung des Trägergases bzw. des Reaktivgases. Zum Heizen der Substrate müssen in der Regel zusätzliche Einrichtungen vorhanden sein.

In der DE 41 25 365 C1 wird eine Lichtbogen-Beschichtungsanlage beschrieben, die eine zusätzliche Anode aufweist, die durch eine gesonderte Stromquelle auf einer Spannung gehalten wird, die höher ist als diejenige, mit der die Verdampfer betrieben werden. Die Reinigung und Erwärmung der Substrate erfolgt durch Beschuß mit Ionen, die mittels der zusätzlichen Anode durch Absaugen von Elektronen aus dem Plasma der Lichtbogenentladung generiert werden. Die zusätzliche Anode muß möglichst gleichmäßig gegenüber dem Verdampfer und den Substraten ausgerichtet sein. Zur Vermeidung von unerwünschten Beschichtungen der Substrate während der Ionenbeschußreinigung werden die Verdampfer zusätzlich abgeschirmt.

Nach dem Stand der Technik sind neben der plasmagestützten Beschichtung mit einem Vakuumbogen-Verdampfer weitere verschiedene Beschichtungsverfahren mit unterschiedlicher Verfahrensführung zur Ionenreinigung, zum Aufheizen der Substrate und zum Beschichten bekannt. So gibt die DD 1 35 216 ein Verfahren an, bei dem in der Vakuumkammer während des gesamten Prozesses eine plasmaerzeugende Hilfseinrichtung, z. B. eine Niedervoltbogenentladung oder Hohlkatodenbogenentladung, in Betrieb ist. Die Substrate werden an unterschiedliche Potentiale gelegt und der Substratstrom ist entsprechend der erforderlichen Verfahrensparameter einstellbar. Damit kann der Ionenbeschuß auf die Substrate zur Reinigung erhöht und während der Beschichtung aus einem e-Strahl-Verdampfer auf die erforderlichen Werte reduziert werden.

Die DD 2 33 278 gibt eine Schaltungsanordnung zur Regelung des Substratpotentials bei einem plasmagestützten Vakuumbeschichtungsverfahren mit Bogenentladung an. Die Substrate können wahlweise oder im Wechsel zum Zwecke der Aufheizung mit der Anode und zum Zwecke der Beschichtung mit der Katode der Bogenentladungseinrichtung verbunden werden. Zum Zwecke der Ionenbeschußreinigung können die Substrate an eine gesonderte Gleichspannungsquelle geschaltet werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Ver-

fahren zur plasmagestützten Beschichtung von Substraten mittels eines Vakuumbogenverdampfers zu schaffen, bei dem die Plasmadichte in der Beschichtungskammer für den Prozeß der Beschichtung mit einem Vakuumbogenverdampfer wesentlich erhöht wird. Des weiteren hat die Erfindung die Aufgabe eine Einrichtung zur Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens anzugeben.

Die Erfindung löst die Aufgabe mit den Merkmalen der Patentansprüche 1 und 9. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Ansprüchen 2 bis 8 bzw. im Anspruch 10 angegeben.

Die erfindungsgemäße zusätzliche Erzeugung einer Niedervoltbogenentladung in der Beschichtungskammer zur Beschichtung der Substrate mittels eines Vakuumbogenverdampfers schafft für den Gesamtprozeß der Beschichtung mit dem Material des Targets eines Vakuumbogenverdampfers, bzw. eines Reaktionsproduktes aus diesem Material und einem Reaktivgas, wesentlich bessere Bedingungen. Während die Vakuumbogenentladung zwischen dem Target des Vakuumbogenverdampfers und der anodischen Elektrode im wesentlichen im Metaldampf brennt, brennt die Bogenentladung einer Niedervoltbogenentladung in einem Trägergas. Dabei ist das Plasma einer Niedervoltbogenentladung für die Vorbehandlungsprozesse einer Beschichtung günstiger. Die Substrate können sehr vorteilhaft durch Beschuß mit Argonionen, dem am häufigsten eingesetzten Trägergas für die Niedervoltbogenentladung, einer Ionenreinigung unterzogen werden. Die Leistung eines derartigen Bogens und damit die Plasmadichte kann vorteilhaft geregelt werden. Ein wesentlicher Vorteil besteht auch darin, daß aufgrund der hohen Plasmadichte die Substrate durch Elektronenbeschuß direkt aus dem Plasma aufgeheizt werden können. Während der Vorbehandlungsprozesse kann zwar auch bereits der Vakuumbogenverdampfer gezündet werden, jedoch ist das überflüssig. Erst, wenn die Substratreinigung abgeschlossen ist, wird ohne Unterbrechung der Niedervoltbogenentladung, die Vakuumbogenentladung zwischen dem Target des Vakuumbogenverdampfers und der anodischen Elektrode gezündet. Während die Vorbehandlungsprozesse in der Regel ausschließlich in einer Inertgasatmosphäre durchgeführt werden, kann während der Beschichtung im Bedarfsfall auch ein Reaktivgas in das Arbeitsgas eingemischt werden. Ohne daß die einzelnen komplizierten Verhältnisse einer derartigen erfindungsgemäßen plasmagestützten Beschichtung detailliert beschrieben werden können, wurden wesentliche Verbesserungen der abgeschiedenen Schichten festgestellt. Ein Grund der Verbesserung der Schichteigenschaften besteht darin, daß der Metaldampf durch das Niedervoltplasma nachionisiert wird und ein wesentlich höherer Anteil des Trägergases, insbesondere das Reaktivgas, ionisiert wird.

Als vorteilhaft hat sich eine Niedervoltbogenentladung mit einer Bogenspannung zwischen 25 und 40 V, vorzugsweise bei 30 V, erwiesen. Die Bogenspannung kann neben der elektrischen Regelung auch über den Arbeitsdruck in der Beschichtungskammer eingestellt werden. Die Bogenspannung einer Vakuumbogenentladung liegt regelmäßig unbeeinflussbar zwischen 20 und 22 V.

Das Niedervoltplasma kann sowohl durch eine Glühkatodenentladung wie durch eine Hohlkatodenbogenentladung erzeugt werden. Beim Einsatz einer Hohlkatodenbogenentladung kann zusätzlich über den Gasfluß durch die Hohlkatode auf den Gesamtprozeß einge-

wirkt werden.

Im Bedarfsfall kann das Verfahren auch zum Abscheiden von zwei oder mehreren Materialien von verschiedenen Vakuumbogenverdampfern gleichzeitig, nacheinander oder periodisch eingesetzt werden.

Die erfindungsgemäße Einrichtung zur Realisierung des Verfahrens wird beispielhaft im Ausführungsbeispiel erläutert.

Die erfindungsgemäß abgeschiedenen Schichten haben eine höhere Haftfestigkeit und eine höhere Dichte. Die höhere Dichte führt zu einer höheren Härte, besserer Homogenität und besserer Verschleißfestigkeit. Des weiteren konnte eine bessere Reproduzierbarkeit der Abscheidungsprozesse festgestellt werden. Nachfolgend soll die Erfindung an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden. Die zugehörige Zeichnung zeigt eine Beschichtungskammer mit einem Vakuumbogenverdampfer und einer zusätzlichen Hohlkatode.

Innerhalb einer Beschichtungskammer 1 mit einem Evakuierungsanschluß 2 befindet sich am Kammerboden ein Substratträger 3 mit Planetenbewegung, auf dem die Substrate 4 gehalten sind. Ein Vakuumbogenverdampfer 5 befindet sich den Substraten 4 unmittelbar gegenüber an der Oberseite der Beschichtungskammer 1. Als Anode der Vakuumbogenentladung ist an der Seite eine anodische Elektrode 6 angeordnet. Auf der anderen Seite befindet sich eine Hohlkatode 7. Die Pluspole der Stromquelle 8 des Vakuumbogenverdampfers 5 und der Stromquelle 9 der Hohlkatode 7 sind miteinander verbunden und an die anodische Elektrode 2 angeschlossen. Die Substrate 4 werden für einzelnen Prozessschritte über einen Schalter 10 jeweils an andere Potentiale angeschlossen. Im Beispiel wird der Schalter 10 zum Zwecke der Ionenreinigung in die Position 11 gebracht und ist dadurch mit einer gesonderten Bias-Spannungsquelle 12 verbunden, die die Substrate auf eine negative Spannung von etwa -200 V legt. Zum Aufheizen der Substrate 4 wird der Schalter 10 in die Stellung 13 gebracht. Damit sind die Substrate 4 direkt an die Pluspole der beiden Stromquellen 8 und 9 angeschlossen. Dabei kann der Schalter 14 geöffnet werden, damit die Bogenentladung der Niedervoltbogenentladung direkt gegen die Substrate 4 bzw. den Substratträger 3 brennt. Während der Beschichtung wird der Schalter 10 in die Position 15 geschaltet und die Substrate 4 liegen am negativen Potential der Hohlkatode 7.

Der Einlaß des Trägergases für die Niedervoltbogenentladung erfolgt über das Ventil 16 direkt durch die Hohlkatode 7. Der Einlaß für ein Reaktivgas erfolgt über das Ventil 17.

Nachfolgend wird die Abscheidung einer Titannitrid-Schicht in der erfindungsgemäßen Einrichtung erläutert.

Innerhalb der Beschichtungskammer 1 wird nach dem Evakuieren im ersten Verfahrensschritt eine Hohlkatenbogenentladung zwischen der Hohlkatode 7 und der anodischen Elektrode 6 gezündet. Dazu wird über das Ventil 16 Argon durch die Hohlkatode 7 in die Beschichtungskammer 1 eingelassen.

Der Argonzufluß ist so eingestellt, daß in der Beschichtungskammer 1 bei ständigem Evakuieren ein Druck von 0,8 Pa aufrechterhalten wird. Die elektrische Leistung für die Hohlkatenbogenentladung wird über die Stromquelle 9 bereitgestellt. Der Strom der Hohlkatenbogenentladung wird auf 60 A konstant gehalten. Bei den beschriebenen Druckverhältnissen stellt sich eine Bogenspannung von 35 V zwischen der anodischen Elektrode 6 und der Spitze der Hohlkatode 7 ein. Bei Abweichungen wird über die Veränderung des Arbeits-

druckes durch die Regelung des Argonzuflusses über das Ventil 16 die Spannung auf den Sollwert eingestellt. Unter diesen Bedingungen stellt sich in der Beschichtungskammer 1 ein gleichmäßig verteiltes Plasma ein. Die Substrate 4 sind über die Stellung 11 des Schalters 10 mit einer Spannungsquelle 12 verbunden. Das Potential beträgt etwa -200 V und es erfolgt ein intensiver Ionenbeschuß auf die Substrate 4 wie auf den Substrathalter 3. In Abhängigkeit deren Oberflächengröße stellt sich ein Strom von 1 bis 5 A ein. Der Ionenbeschuß, auch Ionenätzen genannt, wird über 10 bis 20 Minuten aufrechterhalten. Dabei werden die Substrate 4 gereinigt und allmählich aufgeheizt. Zusätzliche Heizelemente sind zur Erreichung der optimalen Beschichtungstemperatur nicht erforderlich. Übliche Substrate, z. B. Schneidwerkzeuge durchschnittlicher Größe, können durch das Plasma der Hohlkatenbogenentladung leicht auf 300 bis 400° C aufgeheizt werden. Bei Substraten mit größerer Masse wird zusätzlich durch Elektronenstoß geheizt. Dazu werden die Substrate über den Schalter 10, der in die Stellung 13 gebracht wird, unmittelbar mit dem positiven Pol der Stromquelle 9 der Hohlkatode 7 verbunden. Der Schalter 14 wird während dieser Zeit geöffnet. Nach Erreichen der Beschichtungstemperatur der Substrate 4 sind die Vorbereitungsprozesse abgeschlossen und es folgt der eigentliche Beschichtungsprozeß. Dazu wird in die Beschichtungskammer 1 über das Regelventil 17 Stickstoff als Reaktivgas zur Bildung des Titannitrid eingelassen. Für die Abscheidung von TiN-Schichten auf Schneidwerkzeugen, wie Spalbohrer, sind etwa 0,2 l/min N<sub>2</sub>-Einlaß erforderlich.

Unter Beibehaltung der Hohlkatenbogenentladung wird der Vakuumbogenverdampfer 5 gezündet. Die elektrische Leistung wird von der Stromquelle 8 bereitgestellt, deren Pluspol mit der anodischen Elektrode 6 und deren Minuspol direkt mit dem Target 18 des Vakuumbogenverdampfers 5 verbunden ist. Die Vakuumbogenentladung brennt mit typisch 20 bis 22 V bei 80 A im Metallplasma des erodierenden Targetmaterials, im Beispiel Titan. Mit der Zündung des Vakuumbogenverdampfers 5 wird der Schalter 10 in die Position 15 gelegt. Die Substrate liegen zur Beschichtung am kathodischen Potential der Hohlkatode 7. Die Erosionsraten der Vakuumbogenverdampfung betragen bei 60 A etwa 0,1 g/min. Der weitere Prozeß verläuft in bekannter Weise.

Im Unterschied zu den bekannten Beschichtungsverfahren mit einem Vakuumbogenverdampfer brennt der Vakuumbogen gegen die spezielle anodische Elektrode 6, die auch die Gegenelektrode für die gleichzeitig brennende Hohlkatenbogenentladung ist. Die Substrate sind während der Beschichtung zugleich dem Plasma der Hohlkatenbogenentladung, das im Träger- bzw. Reaktivgas brennt, und dem Metallplasma der Vakuumbogenentladung ausgesetzt. Die Ionisierung in unmittelbarer Nähe der Substrate 4 ist durch die komplexe Ionisierung des Metaldampfes und des Rest- bzw. Reaktivgases um ein Mehrfaches höher als bei bekannten Lösungen.

Die im Beispiel abgeschiedenen TiN-Schicht zeichnet sich durch eine hohe Härte und bessere Haftfestigkeit aus. Bemerkenswert ist eine hohe Reproduzierbarkeit der Schichtabscheidung.

#### Patentansprüche

##### 1. Verfahren zur plasmagestützten Beschichtung

von Substraten (4) mittels eines Vakuumbogenverdampfers, dadurch gekennzeichnet, daß in einer evakuierten Beschichtungskammer (1) zwischen einer Katode und einer anodischen Elektrode (6) eine Niedervoltbogenentladung gezündet wird, daß die Substrate (4) an ein negatives Potential gelegt werden, so daß das Plasma der Niedervoltbogenentladung zum Zwecke des Ionen- und Elektronenbeschusses auf die Substrate (4) einwirkt, daß ein Target (18) aus einem Beschichtungsmaterial gegenüber der anodischen Elektrode (6) auf negatives Potential gelegt und eine Vakuumbogenentladung zwischen dem Target (18) und der anodischen Elektrode (6) gezündet wird und daß die Niedervoltbogenentladung wie die Vakuumbogenentladung für die Dauer der plasmagestützten Beschichtung aufrechterhalten werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die anodische Elektrode (6) sowohl mit dem positiven Pol der Stromquelle für die Niedervoltbogenentladung wie auch mit dem positiven Pol der Stromquelle für die Vakuumbogenentladung verbunden ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Niedervoltbogenentladung zwischen einer Hohlkatode (7) und der anodischen Elektrode (6) aufrechterhalten wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bogenspannung der Niedervoltbogenentladung in der Beschichtungskammer (1) auf einem Wert zwischen 25 und 40 V, vorzugsweise 30 V, eingestellt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Bogenspannung der Niedervoltbogenentladung durch Verändern des Arbeitsdruckes eingestellt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Substrate (4) nach dem Zünden der Vakuumbogenentladung mit der Katode der Niedervoltbogenentladung elektrisch verbunden werden.

7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zwei oder mehrere Targets (18) aus gleichem oder verschiedenem Beschichtungsmaterial gleichzeitig, nacheinander oder periodisch gegenüber der anodischen Elektrode (6) auf kathodisches Potential gelegt werden und jeweils Vakuumbogenentladungen zwischen den jeweiligen Targets (18) und der anodischen Elektrode (6) gezündet werden.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Zünden der Vakuumbogenentladung ein oder mehrere Reaktivgase in die Beschichtungskammer (1) eingelassen werden.

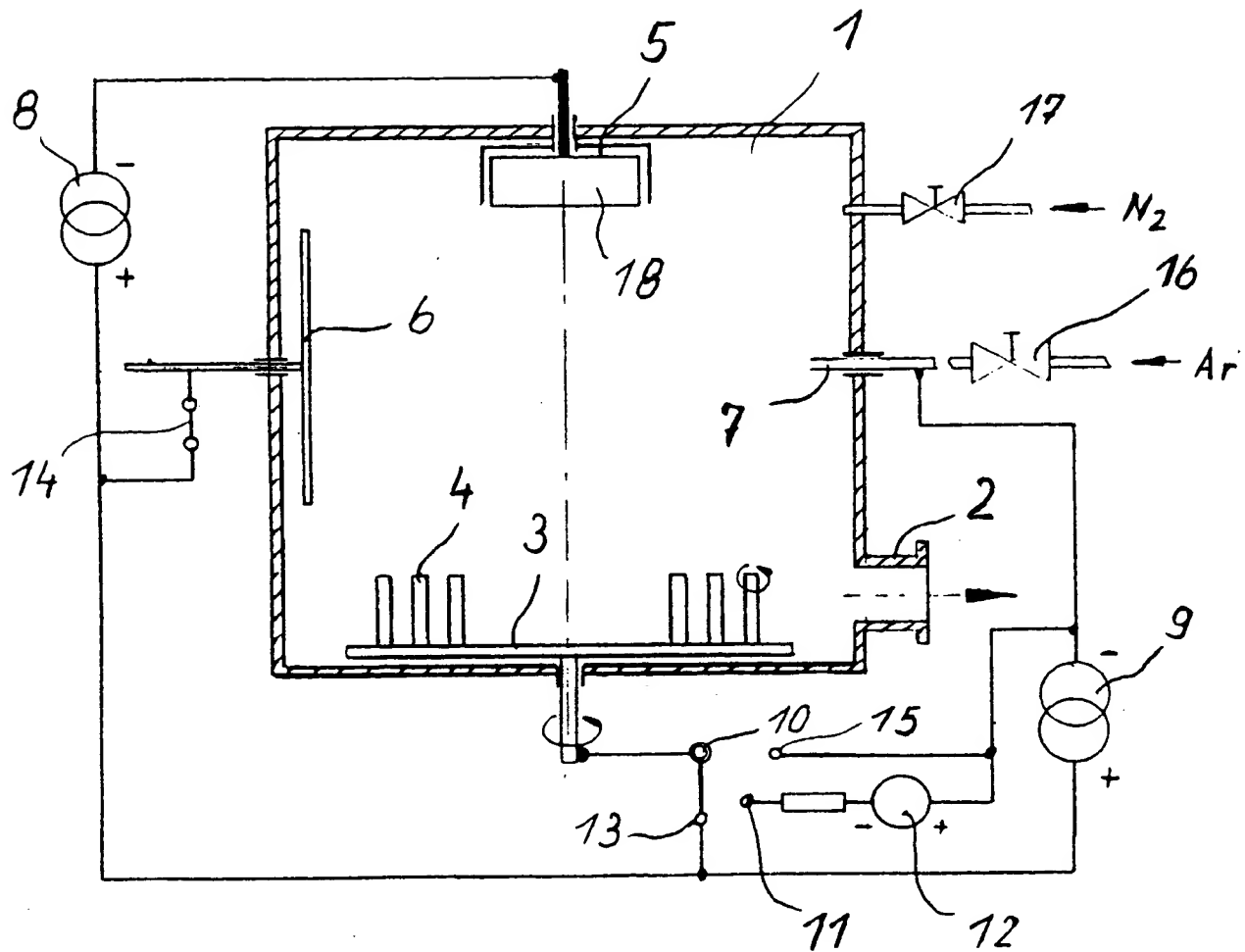
9. Einrichtung zur plasmagestützten Beschichtung von Substraten (3) mittels Vakuumbogenverdampfer, dadurch gekennzeichnet, daß in der Beschichtungskammer (1) eine separate Elektrode (6) angeordnet ist, die sowohl für den Vakuumbogenverdampfer (5) wie gegenüber einer Katode einer Niedervoltplasmaquelle als Anode geschaltet ist, derart daß die anodische Elektrode (6) jeweils mit den Pluspolen der Stromquellen (8 und 9) für die Niedervoltplasmaquelle und den Vakuumbogenverdampfer (5) verbunden ist und daß die Substrate (4) mit einer Schalteinrichtung (10) zur Umschaltung des Substratpotentials verbunden sind.

10. Einrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet,

zeichnet, daß die Schalteinrichtung (10) zur Veränderung des Potentials der Substrate (4) Schaltstufen (11, 13, 15) aufweist, die wahlweise die Substrate (4) mit der Katode der Niedervoltplasmaquelle, mit einer Spannungsquelle (12) mit kathodischem Potential oder mit dem positiven Potential der Stromquelle (9) der Niedervoltplasmaquelle verbindet.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

DOCKET NO: GR 98 P 3829 PSERIAL NO: 09/840,552APPLICANT: Döpper

LERNER AND GREENBERG P.A.

P.O. BOX 2480

HOLLYWOOD, FLORIDA 33022

TEL. (954) 925-1100